

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-147634

(43)Date of publication of application : 29.05.2001

(51)Int.Cl.

G03H 1/30

(21)Application number : 11-331890

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 22.11.1999

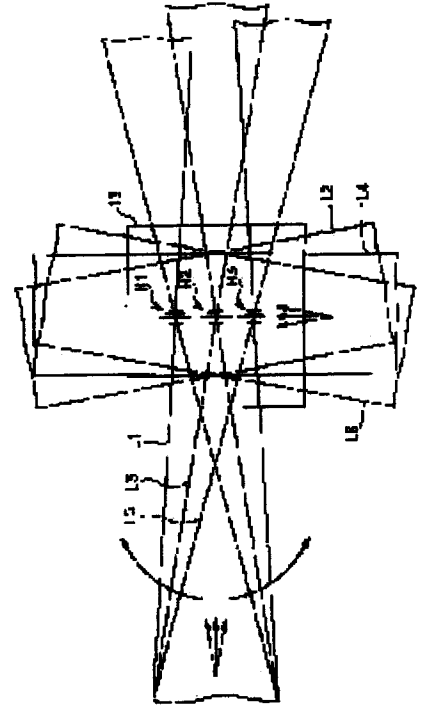
(72)Inventor : SUGANUMA HIROSHI

## (54) MULTIPLE RECORDING METHOD OF HOLOGRAM, AND HOLOGRAM RECORDER

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To execute a multiple recording and to allow the recording of a large capacity of data to be performed while suppressing the degradation in diffraction efficiency as far as possible.

**SOLUTION:** Respective holograms are successively recorded in different regions of a hologram recording medium 13 by changing the incident angle of object light and reference light on the hologram recording medium 13 every time when one sheet of the hologram is recorded.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-147634  
(P2001-147634A)

(43) 公開日 平成13年5月29日 (2001.5.29)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 3 H 1/30

識別記号

F I

G 0 3 H 1/30

テーマコード(参考)

2 K 0 0 8

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平11-331890

(22) 出願日 平成11年11月22日 (1999. 11. 22)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 35 号

(72) 発明者 菅 裕 洋

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 35 号 ソニ  
ー株式会社内

(74) 代理人 100067736

弁理士 小池 晃 (外 2 名)

F ターム(参考) 2K008 AA04 AA08 BB04 CC01 CC03

DD23 EE01 EE04 FF07 FF17

FF21 HH07 HH18 HH19 HH25

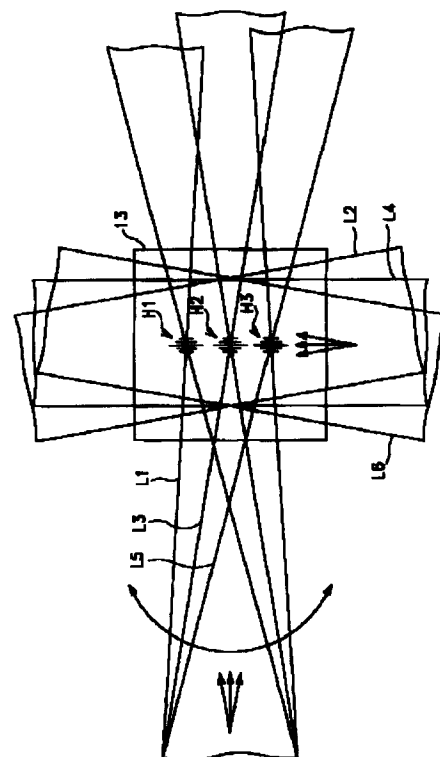
HH26 HH28

(54) 【発明の名称】 ホログラムの多重記録方法及びホログラム記録装置

(57) 【要約】

【課題】 回折効率の低下をできるだけ抑えながら多重記録を行い、大容量のデータの記録を可能にする。

【解決手段】 1 枚のホログラムを記録する毎に、物体光及び参照光のホログラム記録媒体 1 3 への入射角度を変化させ、ホログラム記録媒体 1 3 の異なる領域に各ホログラムを順次記録していく。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 1つのホログラム記録媒体に複数のホログラムを多重記録するホログラムの多重記録方法であって、

1つのホログラムを記録する毎に、上記ホログラム記録媒体に入射させる物体光及び参照光の入射角度をそれぞれ変化させ、上記ホログラム記録媒体の異なる領域に各ホログラムを順次記録することを特徴とするホログラムの多重記録方法。

【請求項2】 上記複数のホログラムを、上記ホログラム記録媒体の参照光が入射する側から離間した領域から参照光が入射する側に近接した領域へと順次記録していくことを特徴とする請求項1記載のホログラムの多重記録方法。

【請求項3】 光偏向手段を用いて、上記ホログラム記録媒体に入射させる物体光及び参照光の入射角度を変化させることを特徴とする請求項1記載のホログラムの多重記録方法。

【請求項4】 上記物体光の入射角度及び参照光の入射角度を共通の光偏向手段を用いてそれぞれ変化させることを特徴とする請求項3記載のホログラムの多重記録方法。

【請求項5】 上記光偏向手段として音響光学素子を用いることを特徴とする請求項4記載のホログラムの多重記録方法。

【請求項6】 光源と、

上記光源から出射された光を偏向してその伝播方向を変化させる光偏向手段と、

上記光偏向手段により決定された方向に伝播する光の光路を少なくとも2つに分離する光路分離手段と、

上記光路分離手段により分離された一方の光路を通る光を光変調手段により変調し、物体光としてホログラム記録媒体に入射させる物体光学系と、

上記光路分離手段により分離された他方の光路を通る光を参照光として上記ホログラム記録媒体に入射させる参照光学系とを備えるホログラム記録装置。

【請求項7】 上記光偏向手段として音響光学素子を用いることを特徴とする請求項6記載のホログラム記録装置。

【請求項8】 上記光偏向手段が上記光源から出射された光を1つの面内で偏向するようになされ、  
上記光偏向手段の出射面と上記光路分離手段とが、少なくとも上記光源から出射された光が偏向する面内において互いに略共役な位置関係となるように、上記光偏向手段及び上記光分離手段がそれぞれ配設されていることを特徴とする請求項6記載のホログラム記録装置。

【請求項9】 上記光路分岐手段と上記物体光学系の光変調手段とが、互いに略共役な位置関係となるようにそれぞれ配設されていることを特徴とする請求項6記載のホログラム記録装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、1つのホログラム記録媒体に複数のホログラムを多重記録するホログラムの多重記録方法及びこの方法によりホログラムを多重記録するホログラム記録装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、記録すべきデータに応じて変調された物体光と参照光とを、大きなフォトリフラクティブ効果を発現するホログラム記録媒体中で干渉させることにより、このホログラム記録媒体にデータを干渉縞として記録し、また、データが記録されたホログラム記録媒体に参照光と同じ入射角で読み出し光を入射させることにより、このホログラム記録媒体に記録されたデータを再生するホログラム記録再生方式が提案されている。

【0003】 このホログラム記録再生方式においては、例えば、液晶表示パネル（LCD）等の空間光変調器を透過することによりこの空間光変調器に表示された1画像分のデータに応じて変調された光が物体光としてホログラム記録媒体内に入射するので、1画像分のデータが1つのホログラムとして、一度にホログラム記録媒体に記録されることになる。そして、再生時においても、この1画像分のデータを含むホログラム単位で再生されることになる。したがって、このホログラム記録再生方式は、例えば、比較的高速アクセスが可能とされている光ディスクを記録媒体として用いた記録再生方式と比較しても、より高速なデータアクセスが可能であるとの特徴を有している。

【0004】 また、このホログラム記録再生方式においては、例えば、1つのホログラムを記録する度に参照光の入射角を変えること等により、1つのホログラム記録媒体に多数のホログラムを重ねて記録する、いわゆる多重記録が可能である。したがって、このホログラム記録再生方式は、非常に高密度にデータを記録することができるという特徴を有している。

【0005】 以上の点から、ホログラム記録再生方式は、近年の情報産業の発達に伴って要求される記録密度の向上やデータアクセスの高速化を満足させる記録再生方式として注目されている。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、このホログラム記録再生方式において、多重記録により多数のホログラムを重ねて記録する場合は、全てのホログラムの記録が終了した時点で、各ホログラムの回折効率が等しくされている必要がある。しかしながら、1つのホログラム記録媒体の同一領域に多数のホログラムを重ねて記録すると、ホログラム記録媒体に先に記録されたホログラムが、後のホログラムを記録する際に消去を受けて、図9に示すように、その回折効率が低下するという問題がある。そこで、多重記録を行う場合には、図10に示す

ように、各ホログラムの記録時にその露光量を制御することによって、最終的に各ホログラムの回折効率が等しくなるようにすることが一般的に行われている。

【0007】以上のようなレコーディングスケジュールでホログラムを多重記録する場合、記録するホログラムの数が増えると、最終的に得られる各ホログラムの回折効率が低下して、再生時のS/N比が低下することになる。そして、再生時のS/N比があまりに低いと、信号成分がノイズに埋もれてしまってホログラムを適切に再生することができなくなる。したがって、多重記録された各ホログラムの回折効率を再生可能な程度に確保するためには、ホログラム記録媒体に記録されるホログラムの枚数を制限する必要があるが、このことが、ホログラム記録媒体に記録されるデータの記録容量を制限する要因となっていた。

【0008】そこで、本発明は、回折効率の低下をできるだけ抑えながら多重記録を行い、大容量のデータの記録を可能とするホログラムの多重記録方法及びホログラム記録装置を提供することを目的とする。

#### 【0009】

【課題を解決するための手段】本発明に係るホログラムの多重記録方法は、1つのホログラム記録媒体に複数のホログラムを多重記録する方法である。そして、このホログラムの多重記録方法では、1つのホログラムを記録する毎に、ホログラム記録媒体に入射させる物体光及び参照光の入射角度をそれぞれ変化させて、ホログラム記録媒体の異なる領域に各ホログラムを順次記録していくようにしている。

【0010】ホログラムは、記録するデータに応じて変調された光である物体光と参照光との干渉縞としてホログラム記録媒体に記録される。そして、ホログラム記録媒体に記録されたホログラムは、記録時に用いた参照光と同じ光を同じ入射角度でホログラム記録媒体に入射することで、ホログラム記録媒体から再生されることになる。

【0011】ここで、例えば、角度多重と呼ばれる多重記録方法によって、1つのホログラム記録媒体に複数のホログラムを多重記録する場合には、1つのホログラムを記録する毎に、ホログラム記録媒体に入射させる参照光の入射角度を変化させることで、ホログラム記録媒体の同一領域に多数のホログラムを重ねて記録するようにしている。

【0012】しかしながら、この場合には、先にホログラムが記録された領域と同一領域に後のホログラムが記録されるので、後のホログラムを記録する際に、その物体光及び参照光が先に記録されたホログラムに照射され、これにより、先に記録されたホログラムが消去を受けてその回折効率が低下する。

【0013】これに対して、本発明に係るホログラムの多重記録方法では、1つのホログラムを記録する毎に、

ホログラム記録媒体に入射させる物体光及び参照光の入射角度をそれぞれ変化させることで、ホログラム記録媒体の異なる領域に各ホログラムを順次記録するようにしているので、先に記録されたホログラムの消去に寄与するのは後のホログラム記録時の参照光だけとなり、先に記録されたホログラムの回折効率の低下が大幅に抑制されることになる。したがって、このホログラムの多重記録方法によれば、大容量のデータを効率良く記録することが可能となる。

【0014】なお、本発明に係るホログラムの多重記録方法においては、複数のホログラムを、ホログラム記録媒体の参照光が入射する側から離間した領域から参照光が入射する側に近接した領域へと順次記録していくことが望ましい。

【0015】ホログラム記録媒体による光の吸収を無視できない場合、ホログラム記録媒体に入射した参照光の光強度は、入射側から離間した領域にいくほど弱くなる。したがって、複数のホログラムを、ホログラム記録媒体の参照光が入射する側から離間した領域から順次記録していくことによって、先に記録したホログラムの消去を更に抑制して、更に大容量のデータを効率よく記録することが可能となる。

【0016】また、本発明に係るホログラム記録装置は、光源と、この光源から出射された光を偏向してその伝播方向を変化させる光偏向手段と、この光偏向手段により決定された方向に伝播する光の光路を少なくとも2つに分離する光路分離手段と、この光路分離手段により分離された一方の光路を通る光を光変調手段により変調し、物体光としてホログラム記録媒体に入射させる物体光学系と、光路分離手段により分離された他方の光路を通る光を参照光としてホログラム記録媒体に入射させる参照光学系とを備えている。

【0017】このホログラム記録装置において、光源から出射された光は、光偏向手段により所定の方向に伝播する光とされた後に、光路分離手段に入射する。そして、光路分離手段に入射した光は、この光路分離手段により互いに異なる光路を通る光とされる。そして、このホログラム記録装置においては、光路分離手段により光路が分離された光のうちの一方が、物体光学系により物体光としてホログラム記録媒体に入射され、他方が、参照光学系により参照光としてホログラム記録媒体に入射されるようになされている。

【0018】したがって、このホログラム記録装置においては、光偏向手段が光源から出射された光の伝播方向を変化させることにより、ホログラム記録媒体に入射される物体光及び参照光の入射角度を共に変化させることができる。

【0019】このホログラム記録装置を用いて、1つのホログラム記録媒体に複数のホログラムを多重記録する場合、1つのホログラムを記録する毎に、光源から出射

10

20

30

40

50

された光の伝播方向を光偏向手段により変化させるようにすれば、ホログラム記録媒体に入射させる物体光及び参照光の入射角度をそれぞれ変化させて、ホログラム記録媒体の異なる領域に各ホログラムを順次記録することができる。したがって、このホログラム記録装置によれば、先に記録されたホログラムの回折効率の低下を大幅に抑制して、大容量のデータを効率良く多重記録することができる。

【0020】なお、このホログラム記録装置においては、光偏向手段として、解像点数を多くとれる音響光学素子を用いることが望ましい。音響光学素子を光偏向手段として用いた場合、超音波と光の相互作用によりドップラーシフトが生じ、回折された光の光周波数がもとの光の光周波数から僅かに変化する。ここで、このような光を物体光又は参照光のいずれか一方に用いた場合には、物体光と参照光との光周波数が一致しないことになり、この光周波数の不一致により、定常的な記録が行えない場合がある。これに対して、本発明に係るホログラム記録装置では、光偏向手段により偏向された光を物体光と参照光との双方に用いるようにしているので、物体光と参照光との光周波数の不一致は生ぜず、以上のような問題は回避されることになる。

【0021】また、本発明に係るホログラム記録装置においては、光偏向手段が光源から出射された光を1つの面内で偏向するようになされ、光偏向手段の出射面と光路分離手段とが、少なくとも上記光源から出射された光が偏向する面内において互いに略共役な位置関係となるように、光偏向手段と光路分離手段とがそれぞれ配設されていることが望ましい。このように、光偏向手段の出射面と光路分離手段とを、少なくとも光が偏向する面内において互いに略共役な位置関係とすることにより、光偏向手段により偏向された光の伝播方向が変化したときでも、その光が光路分離手段により蹴られることを防止することができる。

【0022】また、本発明に係るホログラム記録装置においては、光路分岐手段と物体光学系の光変調手段とが、互いに略共役な位置関係となるようにそれぞれ配設されていることが望ましい。このように、光路分岐手段と物体光学系の光変調手段とを互いに略共役な位置関係とすることにより、光路分岐手段により光路が分岐された一方の光が光変調手段に入射する際の入射領域を一定に保つことが可能となる。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

【0024】本発明を適用したホログラム記録再生装置の一構成例を図1及び図2に示す。この図1及び図2に示すホログラム記録再生装置1は、本発明に係るホログラムの多重記録方法によりホログラムを多重記録する機能と、ホログラム記録媒体に多重記録されたホログラム

を再生する機能とを備えたホログラム記録再生装置である。なお、図1は、このホログラム記録再生装置1の光学系の全体を水平面内で見た様子を示しており、図2は、光源2からビームスプリッタ8までの光学系を垂直面内で見た様子を示している。

【0025】このホログラム記録再生装置1は、波長幅が十分狭くコヒーレンスの高いレーザ光を出射する光源2を備えている。この光源2から出射されるレーザ光の光路上にはコリメータレンズ3が配設されており、光源2から出射されたレーザ光は、このコリメータレンズ3を透過することにより平行光に変換される。

【0026】コリメータレンズ3を透過したレーザ光の光路上には、シリンドリカルレンズ4と、光偏向手段である音響光学偏向器(AOD:Acoustic Optics Deflector)5とが配設されている。コリメータレンズ3により平行光に変換されたレーザ光は、シリンドリカルレンズ4を透過することにより垂直面内で集光され、音響光学偏向器5に入射される。

【0027】音響光学偏向器5は、音響光学効果を利用した光偏向器であり、超音波周波数を変調することによって、入射した光の偏向を行うものである。この音響光学偏向器5に入射したレーザ光は、この音響光学偏向器5により、図1に示す水平面(以下、ビーム偏向面という。)内で偏向されて、所定方向に伝播する光として音響光学偏向器5から出射されることになる。

【0028】音響光学偏向器5から出射されるレーザ光の光路上にはコリメータレンズ6が配設されており、音響光学偏向器5から所定方向に伝播する光として出射されたレーザ光は、このコリメータレンズ6を透過することにより、垂直面内で平行光となるように変換される。

【0029】コリメータレンズ6を透過したレーザ光の光路上には、ビーム径変換光学系7が配設されている。このビーム径変換光学系7は、2つのシリンドリカルレンズ7a, 7bが組み合わされてなるものであり、コリメータレンズ6を透過したレーザ光を、水平面内で所望のビーム径を有する平行光に変換する。

【0030】ビーム径変換光学系7を透過したレーザ光の光路上には、光路分離手段であるビームスプリッタ8が配設されている。このビームスプリッタ8は、入射したレーザ光の一部を透過すると共に、他の一部を反射してその光路を例えば約90度折り曲げることにより、このレーザ光の光路を2つに分離するものである。ここで、ビームスプリッタ8に入射するレーザ光は、音響光学偏向器5により伝播方向が決定された光であるので、このビームスプリッタ8により光路が分離される光は、共に、音響光学偏向器5により決定された所定方向に伝播することになる。

【0031】なお、ビームスプリッタ8は、音響光学偏向器5の出射面の像面に配設され、音響光学偏向器5の

出射面とビームスプリッタ 8 とが、少なくともビーム偏向面内において略共役な位置関係とされることが望ましい。このように、音響光学偏向器 5 の出射面とビームスプリッタ 8 とが少なくともビーム偏向面内において略共役な位置関係とされていれば、音響光学偏向器 5 により偏向されるレーザ光の伝播方向が変わったときでも、レーザ光はビームスプリッタ 8 のほぼ同じ箇所に入射することになる。したがって、この場合には、レーザ光がビームスプリッタ 8 により蹴られて光量が減少するといった不都合を回避することができる。

【0032】ビームスプリッタ 8 を透過したレーザ光の光路上には、リレーレンズ 9、10 と、光変調手段である空間光変調器 11 とが配設されている。そして、ビームスプリッタ 8 を透過したレーザ光は、リレーレンズ 9、10 を介して空間光変調器 11 に入射するようになされている。ホログラム記録再生装置 1 では、このように、ビームスプリッタ 8 と空間光変調器 11 との間にリレーレンズ 9、10 を配設して、ビームスプリッタ 8 を透過したレーザ光をリレーレンズ 9、10 を介して空間光変調器 11 に入射させることにより、ビームスプリッタ 8 と空間光変調器 11 とを互いに略共役な位置関係とすることができるようになされている。このように、ビームスプリッタ 8 と空間光変調器 11 とが互いに略共役な位置関係とされていれば、音響光学偏向器 5 により偏向されるレーザ光の伝播方向が変わったときでも、ビームスプリッタ 8 を透過したレーザ光を空間光変調器 11 の所定の領域に入射させることができる。

【0033】空間光変調器 11 は、例えば透過型の液晶表示装置 (LCD) 等よりなり、画像信号に応じた画像を表示部に表示する。ビームスプリッタ 8 を透過したレーザ光は、リレーレンズ 9、10 を介して空間光変調器 11 に入射され、空間光変調器 11 の表示部を透過することにより、この表示部に表示された画像に応じて変調されることになる。

【0034】空間光変調器 11 の表示部を透過したレーザ光の光路上には、フーリエ変換レンズ 12 が配設されている。そして、空間光変調器 11 の表示部を透過することによって、この空間光変調器 11 の表示部に表示された画像に応じて変調されたレーザ光が、フーリエ変換レンズ 12 を透過することによりフーリエ変換され、物体光としてホログラム記録媒体 13 に入射するようになされている。ホログラム記録再生装置 1 では、以上のよう、空間光変調器 11 の表示部に表示された画像に応じて変調されたレーザ光をフーリエ変換し、フーリエ変換された光を物体光としてホログラム記録媒体 13 に入射させることによって、ホログラム記録媒体 13 にフーリエホログラムを記録するようにしている。

【0035】ここで、ホログラム記録媒体 13 に物体光として入射するレーザ光は、音響光学偏向器 5 により伝播方向が決定された光であるので、この伝播方向に応じ

た所定の入射角度でホログラム記録媒体 13 に入射することになる。そして、音響光学偏向器 5 により偏向されるレーザ光の伝播方向が変わったときには、それに応じて、ホログラム記録媒体 13 に入射する物体光の入射角度も変わることになり、ホログラム記録媒体 13 中における物体光の像面の位置が、水平面内において左右にシフトすることになる。

【0036】なお、ホログラム記録媒体 13 としては、例えば、Fe、Ce、Rh、Pr 等の材料をドーピングした  $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、SBN、 $\text{KnbO}_3$ 、 $\text{BaTiO}_3$ 、BSO 等のフォトリフラクティブ結晶や、有機フォトリポリマー、有機フォトリフラクティブ結晶、液晶等のホログラム材料等が用いられる。

【0037】一方、ビームスプリッタ 8 により反射されたレーザ光の光路上には、一対の反射ミラー 14、15 と、リレーレンズ 16、17 とが配設されている。そして、ビームスプリッタ 8 により反射されたレーザ光が、反射ミラー 14 により反射された後にリレーレンズ 16、17 を透過し、反射ミラー 15 により更に反射されて、参照光としてホログラム記録媒体 13 に入射するようになされている。

【0038】ここで、ホログラム記録媒体 13 に参照光として入射するレーザ光は、ビームスプリッタ 8 により物体光となるレーザ光と分離された光であり、物体光となるレーザ光と同様に、音響光学偏向器 5 により伝播方向が決定された光であるので、この伝播方向に応じた所定の入射角度でホログラム記録媒体 13 に入射することになる。そして、音響光学偏向器 5 により偏向されるレーザ光の伝播方向が変わったときには、それに応じて、ホログラム記録媒体 13 に入射する参照光の入射角度も変わることになる。なお、ホログラム記録媒体 13 に入射する参照光の入射角度が変わっても、リレーレンズ 16、17 を用いることによって、ビームスプリッタ 8 とホログラム記録媒体 13 とが結像関係におかれていれば、参照光は、ホログラム記録媒体 13 における物体光の像面を必ず透過することになる。

【0039】ホログラム記録再生装置 1 では、以上の光学系を経てホログラム記録媒体 13 に入射した物体光と参照光とを、ホログラム記録媒体 13 中で干渉させることによって、その干渉縞をフーリエホログラムとしてホログラム記録媒体 13 に記録するようにしている。

【0040】このホログラム記録再生装置 1 によりホログラム記録媒体 13 に記録されたフーリエホログラムを再生する際には、ビームスプリッタ 8 を透過するレーザ光の光路上にシャッタ 18 を配設し、このシャッタ 18 によりビームスプリッタ 8 を透過したレーザ光を遮断する。そして、ビームスプリッタ 8 により反射されたレーザ光のみを読み出し光として、記録時の参照光と同じ入射角でホログラム記録媒体 13 に入射させる。これにより、ホログラム記録媒体 13 に記録されていたフーリエ

ホログラムが再生されることになる。この再生光をフーリエ変換レンズ 19 によりフーリエ変換し、この像を CCD (Charge-coupled device) 等の撮像素子 20 に投影させれば、空間光変調器 11 の表示部に表示された画像に応じた画像が撮像素子 20 により撮像されることになる。

【0041】なお、以上説明したホログラム記録再生装置 1 においては、光源 2 から出射されたレーザ光を偏向してその伝播方向を変化させるための光偏向手段として、音響光学偏向器 5 を用いるようにしているが、光偏向手段としては、例えば、ガルバノミラーや電気光学偏向器 (EOD: Electric Optics Deflector) 等の他の手段を用いるようにしてもよい。但し、ガルバノミラーは機械的な素子であるので、再現性や絶対的な精度を確保するのが困難である。また、電気光学偏向器については、解像点数が多くとれない等の問題がある。これに対して、音響光学偏向器 5 は、絶対的な精度を確保するのが容易であり、また、解像点数を多くとれることから、光偏向手段として最適である。

【0042】音響光学偏向器 5 を光偏向手段として用いた場合には、超音波と光の相互作用によりドップラシフトが生じ、音響光学偏向器 5 により偏向されたレーザ光の光周波数が、音響光学偏向器 5 に入射するレーザ光の光周波数から僅かに変化することが知られている。ここで、例えば、参照光となるレーザ光の伝播方向のみを音響光学偏向器 5 により変化させ、物体光となるレーザ光の伝播方向は変化させないとすると、ホログラム記録媒体に入射する物体光と参照光とで光周波数の不一致が生じ、2つの光の干渉縞がビート周波数で移動して、ホログラムを定常的に記録することができなくなる。そこで、このような場合には、複数の音響光学偏向器或いは電気光学偏向器を用いて、偏向を与える必要のない光についても光周波数を変化させることにより、光周波数の変化をキャンセルするようになされていた ("Compact holographic storage demonstrator with rapid access" Ian McMichael et al. Applied Optics, Vol. 14, pp. 2375 参照)。しかしながら、音響光学偏向器を複数設けたり、音響光学偏向器の他に電気光学偏向器を設けて光周波数の変化をキャンセルしようとする、装置構成が複雑にならざるを得ず、実用上問題があった。

【0043】これに対して、上述したホログラム記録再生装置 1 においては、音響光学偏向器 5 により偏向されたレーザ光の光路をビームスプリッタ 8 により分離して、分離された各レーザ光をそれぞれ物体光及び参照光として用いるようにしているので、ホログラム記録媒体 13 に入射する物体光と参照光とで光周波数の不一致が生じることはない。したがって、このホログラム記録再生装置 1 では、装置構成の複雑化を招くことなく、光偏向手段として最適な音響光学偏向器 5 を有効に用いることができる。

【0044】なお、以上説明したホログラム記録再生装置 1 においては、ホログラムをフーリエホログラムとして記録するようにしているが、ホログラム記録再生装置 1 は、以上の例に限定されるものではなく、例えば、イメージホログラムやフレネルホログラム等の他のホログラムを記録するように構成されていてもよい。また、以上説明したホログラム記録再生装置 1 においては、透過型ホログラムを記録再生するようにしているが、ホログラム記録再生装置 1 は、この例に限定されるものではなく、反射型ホログラムを記録再生するように構成されていてもよい。

【0045】ところで、以上説明したホログラム記録再生装置 1 においては、上述したように、音響光学偏向器 5 が、光源 2 から出射されたレーザ光の伝播方向を変化させることにより、ホログラム記録媒体 13 に入射する物体光の入射角度及び参照光の入射角度を変化させることができるようになされているので、1つのホログラムを記録する毎に音響光学偏向器 5 による偏向を制御するようにすれば、ホログラムの多重記録が行える。すなわち、音響光学偏向器 5 を通過したレーザ光の電波方向を、1つのホログラムを記録する毎に変えるようにすれば、ホログラム記録媒体 13 に入射させる物体光及び参照光の入射角度を変化させながら複数のホログラムを順次記録する本発明の多重記録方法により、ホログラムの多重記録を行うことが可能になる。

【0046】1つのホログラムを記録する毎に、ホログラム記録媒体 13 に入射させる物体光及び参照光の入射角度をそれぞれ変化させながら多重記録を行う本発明の多重記録方法の原理を図 3 を参照して説明する。

【0047】先ず、第 1 の物体光 L1 と第 1 の参照光 L2 とをホログラム記録媒体 13 中で干渉させて、ホログラム記録媒体 13 に第 1 のホログラム H1 を記録する。次に、音響光学偏向器 5 によりレーザ光の伝播方向を変化させることによって、物体光及び参照光のホログラム記録媒体 13 への入射角度を変化させる。そして、第 2 の物体光 L3 と第 2 の参照光 L4 とをホログラム記録媒体 13 中で干渉させて、ホログラム記録媒体 13 に第 2 のホログラム H2 を記録する。次に、音響光学偏向器 5 によりレーザ光の伝播方向を変化させることによって、物体光及び参照光のホログラム記録媒体 13 への入射角度を更に変化させる。そして、第 3 の物体光 L5 と第 3 の参照光 L6 とをホログラム記録媒体 13 中で干渉させて、ホログラム記録媒体 13 に第 3 のホログラム H3 を記録する。以下、同様に、ホログラム記録媒体 13 への入射角度が異なる物体光及び参照光を用いてホログラム記録媒体 13 中にホログラムを順次記録していく。

【0048】以上のように、物体光及び参照光のホログラム記録媒体 13 への入射角度をそれぞれ変化させながらホログラム記録媒体 13 に複数のホログラムを多重記録するようにすれば、ホログラム記録媒体 13 中におい

て、物体光と参照光とが交差してホログラムが記録される領域は、各ホログラム毎にそれぞれ異なることになる。これにより、多重記録の際に問題とされる回折効率の低下が抑制されることになる。

【0049】詳述すると、例えば、1つのホログラムを記録する毎に、ホログラム記録媒体に入射させる参照光の入射角度のみを変化させる従来の角度多重においては、ホログラム記録媒体の同一領域に複数のホログラムが重ねて記録されることになる。この場合には、後のホログラムを記録する際に、その物体光及び参照光が先に記録されたホログラムに照射され、これにより、先に記録されたホログラムが消去を受けてその回折効率が低下することになる。

【0050】多重記録により複数のホログラムを重ねて記録する場合は、露光量を制御しながら全てのホログラムの記録が終了した時点で各ホログラムの回折効率を等しくする必要があるが、後のホログラム記録時における先のホログラムの回折効率の低下が大きいと、ホログラム記録媒体に記録されるホログラムの枚数が制限されることになる。

【0051】これに対して、物体光及び参照光のホログラム記録媒体13への入射角度をそれぞれ変化させながらホログラム記録媒体13に複数のホログラムを多重記録するようにすれば、各ホログラムがホログラム記録媒体13の異なる領域にそれぞれ記録されることになるので、先に記録されたホログラムの消去に寄与するのは後のホログラム記録時の参照光だけとなる。すなわち、図3において、例えば、第2のホログラムH2を記録する際に、第1のホログラムH1に照射されるのは第2の参照光L4のみであり、第2の物体光L3は照射されない。また、第3のホログラムH3を記録する際に、第1のホログラムH1及び第2のホログラムH2に照射されるのは第3の物体光L6のみであり、第3の物体光L5は照射されない。したがって、この方法によれば、先に記録されたホログラムの回折効率の低下が大幅に抑制されることになり、大容量のデータを効率良く記録することが可能となる。

【0052】また、物体光及び参照光のホログラム記録媒体13への入射角度を図3に示す方向で変化させれば、ホログラム記録媒体13中において、物体光と参照光とが交差してホログラムが記録される領域は、参照光が入射する側から離間した領域から、参照光が入射する側に近接した領域へと移動していくことになる。すなわち、先に記録したホログラムほどホログラム記録媒体13の参照光が入射する側から離間した領域に記録され、後に記録したホログラムほどホログラム記録媒体13の参照光が入射する側に近接した領域に記録されることになる。

【0053】ここで、ホログラム記録媒体13に光を吸収する材料を用いた場合には、ホログラム記録媒体13に入射した参照光の光強度は、入射側から離間した領域へいくに従って弱くなる。したがって、以上のように、複数のホログラムを、ホログラム記録媒体13の参照光が入射する側から離間した領域から、参照光が入射する側に近接した領域へと順次記録していくようにすれば、先に記録されたホログラムほど、後のホログラム記録時に照射される参照光の光強度が弱まるので、上述した角度多重により多重記録を行う場合に比べて、先に記録されたホログラムの回折効率の低下を抑えて、更に大容量のデータを効率よく記録することが可能となる。

【0054】なお、図3においては、ホログラム記録媒体13の中心部分で物体光が集光している様子を図示しているが、物体光の集光位置をホログラム記録媒体13の物体光が射出する側にずらした方が高い回折効率を得られるので望ましい。この場合にも、物体光及び参照光のホログラム記録媒体13への入射角度をそれぞれ変えながら多重記録を行うようにすれば、記録されたホログラムの回折効率の低下を抑制することができる。

【0055】ここで、物体光及び参照光のホログラム記録媒体13への入射角度をそれぞれ変えながら複数のホログラムを多重記録する際のレコーディングスケジュールについて、図4を参照して説明する。

【0056】物体光及び参照光のホログラム記録媒体13への入射角度をそれぞれ変えながら複数のホログラムを多重記録する場合、各ホログラムの記録と消去の時定数が一定ではない。これは、ホログラム記録媒体13中において物体光と参照光とが交差する点が移動するため、参照光の吸収量が変化するためである。また、実際には、物体光と参照光の光強度密度や結晶軸に対する方向等の様々な要因によって、各ホログラムの記録と消去の時定数は変化することになる。

【0057】しかしながら、このような場合にも、各ホログラムに対する記録と消去の時定数が既知であり、記録するホログラムの数 $M$ と、各ホログラムの最終的な回折効率 $\eta$ を決定すれば、最終的に記録された全てのホログラムの回折効率が等しくなる図4に示すようなレコーディングスケジュールを設定することが可能である。

【0058】この図4に示すようなレコーディングスケジュールを設定する場合は、先ず、最後に記録するホログラムからその記録時間(露光時間)を設定する。 $M$ 枚目のホログラムの記録時定数を $\tau_{rec}(M)$ とすれば、 $M$ 枚目のホログラムの記録に要する時間 $t_M$ は、下記式1から求められる。ここで、 $\eta_{max}$ は、飽和回折効率である。

【0059】

【数1】



$$\bar{\eta} = \eta_{\max} \left( 1 - \exp \left[ - \frac{t_M}{\tau_{\text{rec}}(M)} \right] \right) \quad \dots (1)$$

【0060】次に、M-1枚目のホログラムは、M枚目のホログラム記録時の $t_m$ の露光後に $\eta$ の回折効率を有していればよいので、記録直後の回折効率 $\eta_{M-1}$ が下記\*

\*式2を満たせばよい。

【0061】

【数2】

$$\eta_{M-1} = \eta_{\max} \cdot \left( 1 - \exp \left[ - \frac{t_{M-1}}{\tau_{\text{rec}}(M-1)} \right] \right) \quad \dots (2)$$

【0062】また、M-1枚目のホログラムの記録に要する時間 $t_{M-1}$ は、下記式3から求められる。

※【0063】

【数3】

$$\bar{\eta} = \eta_{M-1} \cdot \exp \left[ - \frac{t_M}{\tau_{\text{erase}}(M-1)} \right] \quad \dots (3)$$

【0064】以下、次に記録していくホログラムの記録時間と回折効率とを順次決定していけばよい。

★折効率 $\eta_s$ は下記式4を満たせばよい。

【0066】

【0065】一般に、n枚目のホログラム記録直後の回★20

【数4】

$$\eta_n = \eta_{\max} \cdot \left( 1 - \exp \left[ - \frac{t_n}{\tau_{\text{rec}}(n)} \right] \right) \quad \dots (4)$$

【0067】また、n枚目のホログラムの記録に要する時間 $t_n$ は、下記式5から求められる。

☆【0068】

【数5】

$$\bar{\eta} = \eta_n \cdot \exp \left[ - \frac{\sum_{i=n+1}^M t_i}{\tau_{\text{erase}}(n)} \right] \quad \dots (5)$$

【0069】この漸化式によって、多重記録される各ホログラムの露光量或いは記録時間（露光時間）が順次決定されることになる。

【0070】ここで、本発明に係るホログラムの多重記録方法で、以上のようなレコーディングスケジュールにより複数のホログラムを多重記録した場合の具体的な例を、従来の角度多重により多重記録をした例と比較して、以下に説明する。

【0071】各ホログラム記録時の物体光は、ホログラム記録媒体の中心付近に集光されているとする。そして、各ホログラムの記録中心、すなわち、物体光の中心と参照光の中心との交点がホログラム記録媒体中において等間隔に並んでいるとする。また、参照光は平行光であり、ホログラム記録媒体全体に常時照射されているものとする。ホログラムの記録時定数は、物体光の振幅と参照光の振幅との積の絶対値に比例する。また、後のホログラムを記録している際に先に記録されたホログラムが被る消去は、参照光の照射にのみ起因するものと仮定する。このときの時定数は、参照光の強度に比例する。

【0072】以上の条件に対して、ホログラム記録媒体

の中心付近での記録時定数 $\tau_{\text{rec}}$ を1とし、後のホログラムを記録している際に先に記録されたホログラムがホログラム記録媒体の中心付近で被る消去の時定数 $\tau_{\text{erase}}$ を1とし、飽和回折効率 $\eta_{\max}$ を1とし、吸収係数 $\alpha$ を0.15とし、ホログラム記録媒体の厚み $L$ を1.0とする。

【0073】このような条件の下で、図4に示したレコーディングスケジュールで、物体光及び参照光のホログラム記録媒体への入射角度を変えながら、11枚のホログラムを、全てのホログラムの記録が終了した時点で各ホログラムの回折効率が0.01となるように多重記録した例を図5に示す。また、従来の角度多重により、11枚のホログラムを、全てのホログラムの記録が終了した時点で各ホログラムの回折効率が0.01となるように多重記録した例を図6に示す。

【0074】この図5と図6とを比較すれば、本発明に係るホログラムの多重記録方法は、従来の角度多重によるホログラムの多重記録方法に比べて、ダイナミックレンジの点から非常に有利であることが分かる。すなわち、図6に示す例では、最初のホログラムは、回折効率

が約0.011になるまで記録され、その後、10枚のホログラムが順次記録されることによって、最終的に回折効率が0.01にまで低下する。ここで、最終的な回折効率を0.01に維持しながらさらに多くのホログラムを記録する場合には、最初のホログラムの回折効率を更に高める必要がある。しかしながら、ホログラムの回折効率には、ホログラム記録媒体の材料で決まる上限があるため、最初に記録するホログラムの回折効率を高めるには限界がある。これにより、多重記録可能なホログラムの数は制限されることになる。

【0075】一方、図5に示す例では、図6に示す例と同じ11枚のホログラムを多重記録しているにもかかわらず、最終的な回折効率を0.01に維持するのに、最初に記録するホログラムの回折効率は0.0105程度で足りる。すなわち、この図5の例では、最初に記録するホログラムの記録時の回折効率と最終的なホログラムの回折効率との差は、図6に示す例の半分程度でよいことが分かる。したがって、この図5に示す例では、図6に示す例と比較して、より多数のホログラムを多重記録することが可能である。換言すると、図5に示す例では、回折効率の変化幅、すなわち、ダイナミックレンジを有効に活用することができる。

【0076】本発明に係るホログラムの多重記録方法と従来の角度多重によるホログラムの多重記録方法との差は、更に多数のホログラムを多重記録するようにした場合に、より顕著になる。

【0077】上述した条件の下で、図4に示したレコーディングスケジュールで、物体光及び参照光のホログラム記録媒体への入射角度を変えながら、51枚のホログラムを、全てのホログラムの記録が終了した時点で各ホログラムの回折効率が0.01となるように多重記録した例を図7に示す。また、従来の角度多重により、51枚のホログラムを、全てのホログラムの記録が終了した時点で各ホログラムの回折効率が0.01となるように多重記録した例を図8に示す。

【0078】この図7と図8とを比較すると、図8に示す例では、最初のホログラムの回折効率が約0.02とされ、約0.01の回折効率のダイナミックレンジを使用しているのに対して、図7に示す例では、最初のホログラムの回折効率は0.0135程度で足り、回折効率のダイナミックレンジとしては、図8に示す例の1/3程度の約0.0035で図8に示す例と同じ数のホログラムを多重記録できることが分かる。したがって、この例では、回折効率が飽和回折効率に達するまで、更に多くのホログラムを多重記録することができる。

【0079】ところで、本発明に係るホログラムの多重記録方法で、以上のようなレコーディングスケジュールにより複数のホログラムを多重記録した場合、全てのホログラムの記録が終了した後に、例えば、ホログラムを再生するための読み出し光等をホログラム記録媒体に光

を入射させると、各ホログラムの回折効率が、図5及び図7に示したように、それぞれ異なる時定数に従って徐々に減少していくことになるり、各ホログラムの回折効率に違いが生じてしまう場合がある。

【0080】しかしながら、このような問題は、全てのホログラムの記録が終了した後にホログラム記録媒体に加熱処理を施して、ホログラム記録媒体に多重記録された各ホログラムを熱定着させることによって回避することができる。また、増感用の光線と物体光及び参照光を用いてホログラムの記録を行い、参照光と同じ光である読み出し光によりホログラムを再生する、いわゆる二波長記録によっても、再生時におけるホログラムの回折効率の低下を抑制して、上述した問題を回避することができる(USP 5665493 Bai et al, Y. S. Bai and R. Kachru, Phys. Rev. Lett, 78, 2944, 1997 参照)。この二波長記録によりホログラムの多重記録を行う場合には、ホログラム記録媒体として、例えば、 $\text{Pr}:\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{Pr}:\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{Fe}:\text{Mn}:\text{LiNbO}_3$ 等の結晶が用いられる。ホログラム記録媒体として $\text{Pr}:\text{LiNbO}_3$ を用いた場合には、450nm程度の青色光で下準位の電子を中間準位へ励起した後に、850nm程度の赤外光でホログラムの記録を行うといった二段階のプロセスを経て記録を行う。

【0081】なお、本発明のホログラム多重記録方法は、情報記録再生装置や画像表示装置にのみ適用されるものではなく、ホログラム記録再生の原理を利用するものに広く適用することができる。例えば、相関演算機、連想記憶等の光コンピュータ、光インターコネクション、ホログラムプリンタ、ホログラフィー干渉計、ホログラフィック光学素子等に本発明の手法を適用することができる。

#### 【0082】

【発明の効果】本発明に係るホログラムの多重記録方法では、1つのホログラムを記録する毎に、ホログラム記録媒体に入射させる物体光及び参照光の入射角度をそれぞれ変化させることで、ホログラム記録媒体の異なる領域に各ホログラムを順次記録するようにしているので、先に記録されたホログラムの消去に寄与するのは後のホログラム記録時の参照光だけとなり、先に記録されたホログラムの回折効率の低下が大幅に抑制されることになる。したがって、このホログラムの多重記録方法によれば、大容量のデータを効率良く記録することが可能となる。

【0083】また、本発明に係るホログラム記録装置によれば、光偏向手段が光源から出射された光の伝播方向を変化させることにより、ホログラム記録媒体に入射される物体光及び参照光の入射角度を共に変化させることができる。したがって、このホログラム記録装置を用いてホログラムの多重記録を行うようにすれば、1つのホログラムを記録する毎に、ホログラム記録媒体に入射さ

せる物体光及び参照光の入射角度をそれぞれ変化させて、ホログラム記録媒体の異なる領域に各ホログラムを順次記録することができ、先に記録されたホログラムの回折効率の低下を大幅に抑制して、大容量のデータを効率良く多重記録することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明を適用したホログラム記録再生装置の光学系全体を水平面内から見た様子を模式的に示す図である。

【図 2】上記ホログラム記録再生装置の光学系の光源からビームスプリッタまでの光学系を垂直面内から見た様子を模式的に示す図である。

【図 3】本発明に係るホログラムの多重記録方法の原理を説明するための図であり、物体光及び参照光のホログラム記録媒体への入射角度をそれぞれ変化させたときの様子を模式的に示す図である。

【図 4】本発明に係るホログラムの多重記録方法によりホログラムを多重記録する際のレコーディングスケジュールを説明するための図である。

【図 5】本発明に係るホログラムの多重記録方法によりホログラムを多重記録した場合の各ホログラムの回折効率の変化を示す図であり、11枚のホログラムを最終的な回折効率 $0.01$ となるように多重記録した例を示す図である。

【図 6】従来の角度多重によりホログラムを多重記録した場合の各ホログラムの回折効率の変化を示す図であ \*

り、11枚のホログラムを最終的な回折効率 $0.01$ となるように多重記録した例を示す図である。

【図 7】本発明に係るホログラムの多重記録方法によりホログラムを多重記録した場合の各ホログラムの回折効率の変化を示す図であり、51枚のホログラムを最終的な回折効率 $0.01$ となるように多重記録した例を示す図である。

【図 8】従来の角度多重によりホログラムを多重記録した場合の各ホログラムの回折効率の変化を示す図であり、51枚のホログラムを最終的な回折効率 $0.01$ となるように多重記録した例を示す図である。

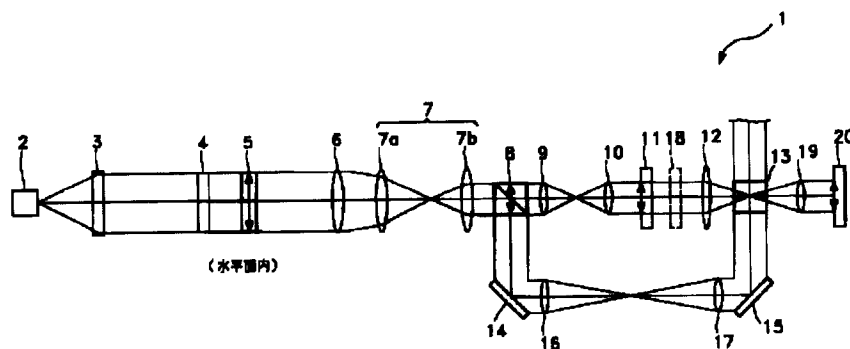
【図 9】ホログラムが消去を受けた際の回折効率の変化を、ホログラム記録時の回折効率の変化と合わせて示す図である。

【図 10】従来の角度多重によりホログラムを多重記録する際のレコーディングスケジュールを説明するための図である。

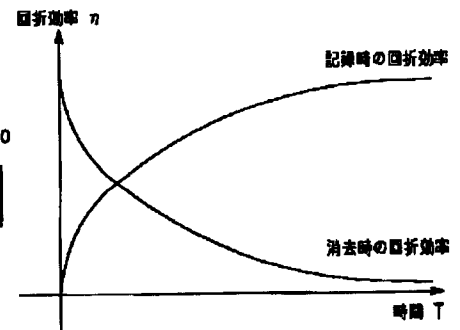
#### 【符号の説明】

1 ホログラム記録再生装置、2 光源、5 音響光学偏向器、8 ビームスプリッタ、11 空間光変調器、13 ホログラム記録媒体、L1 第1の物体光、L2 第1の参照光、L3 第2の物体光、L4 第2の参照光、L5 第3の物体光、L6 第3の参照光、H1 第1のホログラム、H2 第2のホログラム、H3 第3のホログラム

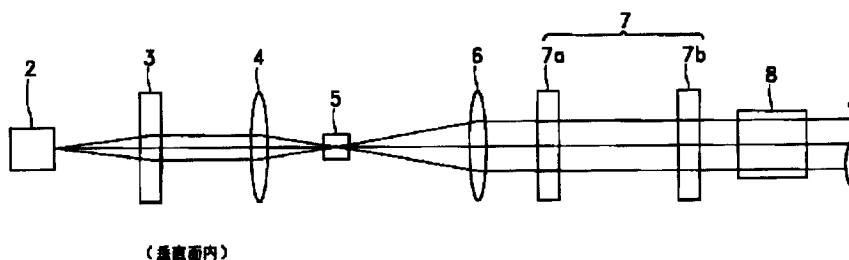
【図 1】



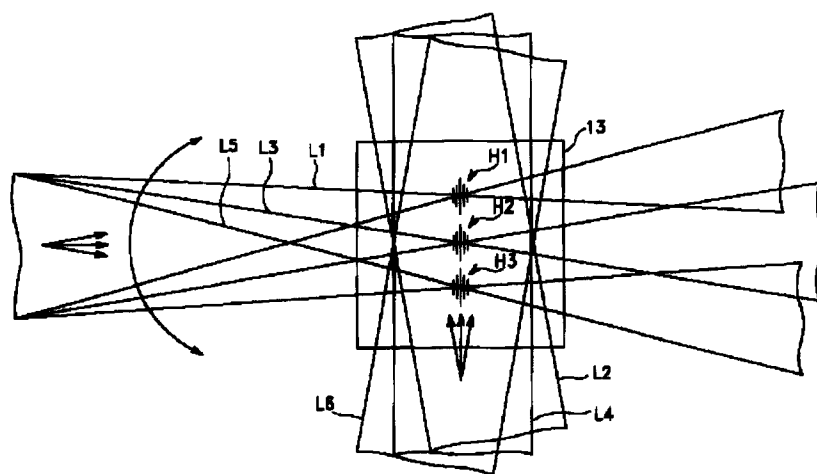
【図 9】



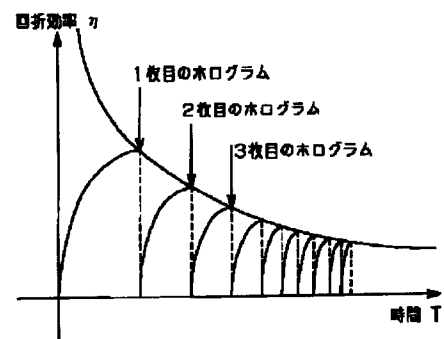
【図 2】



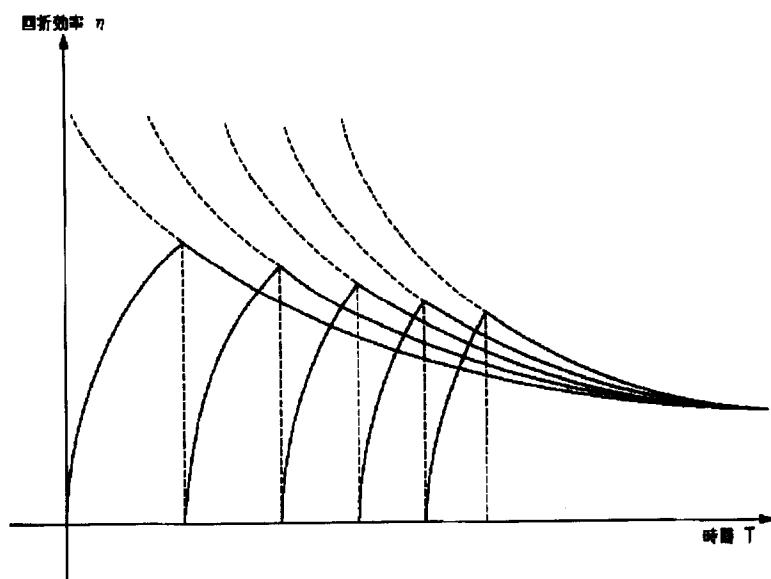
【図3】



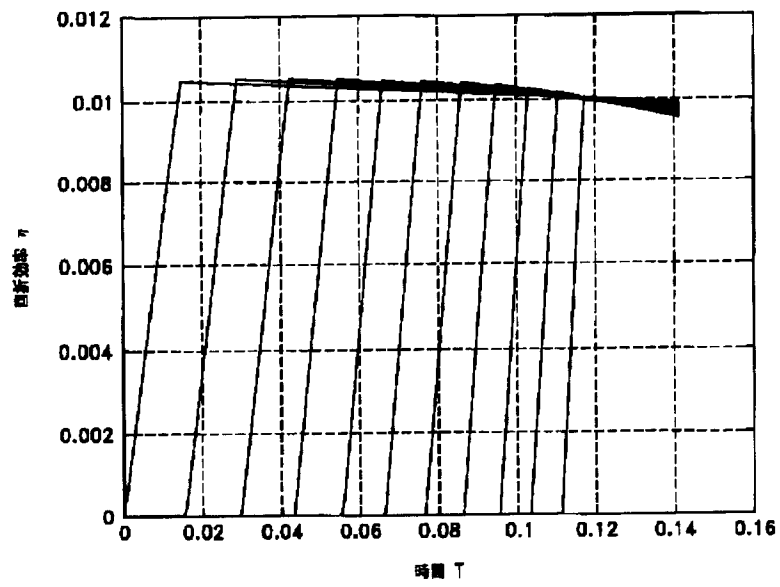
【図10】



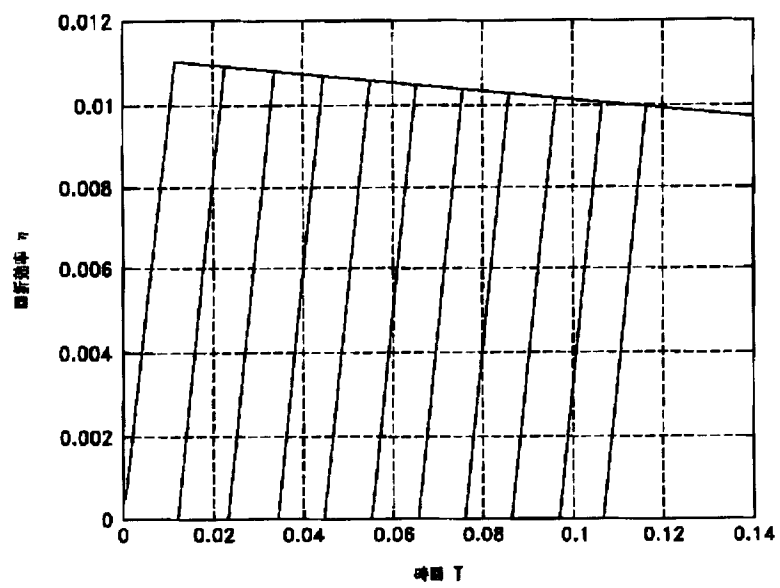
【図4】



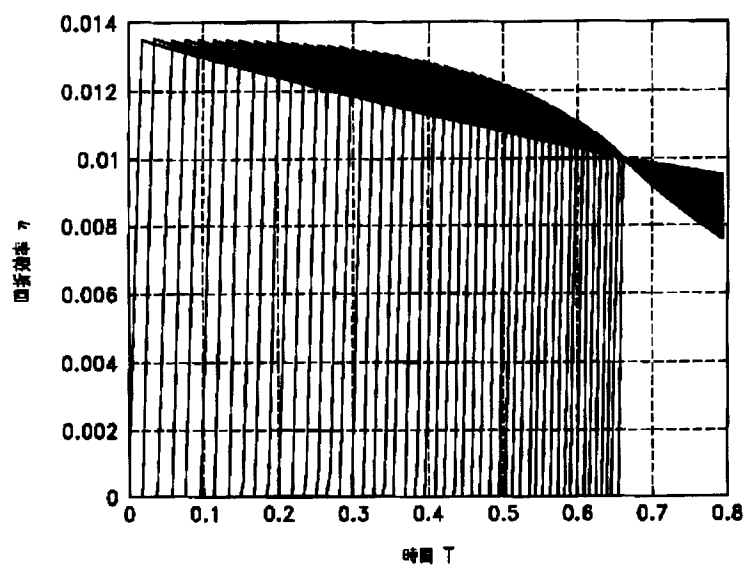
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】

